

## Különböző silócirok hibridek energetikai szempontú értékelése

Jóvér János<sup>1</sup> – Ábrahám Éva Babett<sup>2</sup> – Blaskó Lajos<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Kutatóintézetek és Tangazdaság Karcagi Kutató Intézet, Karcag

<sup>2</sup>Szegedi Gabonakutató Nonprofit Kft., Szeged

jover@agr.unideb.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

A silócirok egy perspektivikus növénye lehet a bioenergetikának, amely a hazai bioetanol-előállítás alapja is lehet a jövőben. A vizsgálatok során nyolc silócirok hibrid cukor-felhalmozódására és bioetanol-szolgáltató képességére vonatkozóan történtek vizsgálatok. A vizsgálatok alapját három tenyésztési időszak (2010, 2011, 2012) képezte. A kísérlet a Debreceni Egyetem AGTC KIT Karcagi Kutató Intézet területein került beállításra, amelynek során a tenyésztési időszak augusztus 15. és november 15. közé eső időszakában vettünk 1 m<sup>2</sup> területről mintákat. A mintákból kézi refraktométerrel határoztuk meg a különböző hibridek cukortartalmát, amely alapul szolgált az egyes hibridekre vonatkozó potenciális bioetanol szolgáltató képesség meghatározásában.

Az energetikai értékelés folytatásaként a minták préselési maradékait kalorimetrikus égéshő-meghatározásnak vetettük alá. Az eredmények alapján elmondható, hogy az egyes hibridek cukortartalma, valamint a cukortartalom felhalmozódásának dinamikája akár jelentős különbségeket is mutathat, míg a préselési maradékok égéshője 16 200 és 16 900 J/g között változott.

**Kulcsszavak:** kukorcirok, Brix%, bioenergia, bioetanol, égéshő

### SUMMARY

The sweet sorghum is a perspective plant of bioenergy, which can be the foundation of Hungarian bioethanol production in the future. By the examination six sweet sorghum hybrids have been examined by the viewpoint of sugar aggregation and bioethanol production capacity. The foundation of the survey was three growing season (2010, 2011, 2012). The experiment was on the production sites of University of Debrecen CAAES RISF Karcag Research Institute. The production site of the sweet sorghum have been sampled by samples of 1 m<sup>2</sup> by hybrids within the period of august 15 and november 15. The sugar content of the samples have been measured by refractometer which was the base in the determination of ethanol production capacity.

As a continuation of the evaluation of energetic viewpoint the Higher Heating Value (HHV) have been measured from the bagasse of sweet sorghums. According to the results it can be stated that in the case of sugar content and the dynamics of the sugar aggregation can show several differences, while HHV of sorghum bagasse is within 16 200 and 16 900 J g<sup>-1</sup>.

**Keywords:** sweet-sorghum, Brix%, bioenergy, bioethanol, Higher Heating Value

### BEVEZETÉS

A bioetanol az egyik legfontosabb megújuló és környezetbarát biohajtóanyag (Balat et al., 2008, 2009). A magasabb oktánszám és párolgáshő előnyeit kihasználva, benzinnel keverve és tisztán is használható (Kim és Dale, 2005). Hazánkban 5, 10 és 85%-os bekeverési arány a jellemző, amely üzemanyagok E5, E10, illetve E85 néven ismeretesek (Kiss és Mlinarics, 2008). A bioetanol széleskörű alkalmazásával csökkenthető a fosszilis tüzelőanyagok használata és az üvegházhatású gázok emissziója ezért az elkövetkezendő 20 évben az egyik legelterjedtebb biohajtóanyaggá válhat (Zhang et al., 2003; Nguyen és Li, 1991; IEA, 2008; Mojovic et al., 2009).

Az Európai Unió a megújuló energiaforrásokból előállított energiának a közösségi energiafogyasztásban 2020-ra elérendő 20%-os részarányával, a közlekedést illetően pedig 10%-os részarányával kívánja elősegíteni a biohajtóanyagok és ezzel együtt a bioetanol alkalmazásának elterjedését (2009/28/EK Irányelv).

Az Európai Unió bioüzemanyag irányelve 2010-re 5,75%-os energiatartalom alapú bekeverési arányt írt elő a bioetanolra vonatkozóan, amely a 2006-ban felhasznált 65 milliárd liter bioüzemanyag a közlekedés energiaigényének energia-egyenértékben kifejezett 1%-át tette ki (Popp, 2007), ami egyértelműen indokoltá teszi a bioetanol előállításának és felhasználásának infrastrukturális fejlesztését.

A bioetanol előállításának tekintetében három fő alapanyagtypust különböztetünk meg: cukortartalmú növények (pl. kukornád, cukorrépa, kukorcirok), keményítő tartalmú növények (pl. kukorica, búza, árpa, tritikále) és cellulóz tartalmú alapanyagok (pl. fa, növényi szarak) (Uriarte, 2010; Mojovic et al., 2012). A különböző alapanyagtypusok esetén az egyes előkezelési eljárások különbözhetnek, de a bioetanol előállítás alapvetően három lépésből áll, amelyek a következők: fermentáció, desztilláció és dehidratáció (Uriarte, 2010).

A kukorcirok egy C4-es életformájú növény, magas fotoszintetikus aktivitással és biomassa-hozammal, kiváló aszály- és sőtűréssel, továbbá magasabb hektáronkénti cukortartalommal és nagyobb egységnyi területre vetített bioetanol hozammal rendelkezik, mint a cukorrépa (Barbanti et al., 2006; Dolciotti et al., 1998; Zhao et al., 2009; Billa et al., 1997; Bryan, 1990; Kovács et al., 2011). A kukorcirokból préselt lé cukortartalma 16–20%-ot is elérhet, amelyet leginkább glükóz, fruktóz és szacharóz alkot (Kovács et al., 2011; Goshadrou et al., 2011). Kovács et al. (2011) szerint a kukorcirok tisztaszesz kihozatala 1000 l/ha és 5000 l/ha között alakul, míg Mojovic et al. (2009) szerint ez az érték 1365 l/ha.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

A kutatómunka során Berény, Róna 1, Monori édes, Cellu, Sucrosorgo 506 és G-1990 silócirok hibrideknél vettünk 1 m<sup>2</sup>-es területről mintákat bizonyos időközönként a tenyészidőszak augusztus 15 és november 15 közé eső időszakában. A vizsgált mintáknál meghatároztuk a kiperéselhető lé mennyiségét, illetve négy ismételtesben annak cukortartalmát. A négy ismételtesben mért cukortartalmak átlagai és a mintákból kiperéselt lé mennyisége alapján határoztuk meg a potenciális etanol szolgáltató képességet, amely munka során – Zhao et al. (2009) munkája nyomán – 85%-os fermentációs hatékonysággal kalkuláltunk. A rendelkezésre álló adatok alapján meghatároztuk az egyes hibridek bioetanol szolgáltató képességét a betakarítási idő függvényében.

A fentiek alapján tehát a potenciális bioetanol-hozam meghatározása a következőképpen történt:

$Bh = Pl \times Cu \times Fh \times \rho \times 10\,000$ , ahol:

Bh = Bioetanol hozam (l/ha),

Pl = kiperéselt ciroklé mennyisége (kg/m<sup>2</sup>),

Cu = a négy ismételtesben meghatározott cukor tartalom átlaga/100,

Fh = fermentációs hatékonyság (0,85),

$\rho$  = etanol sűrűsége 0,79 g/cm<sup>3</sup>.

A vizsgálat folytatásaként mindegyik fajtára vonatkozóan négy ismételtesben meghatároztuk a légszár

préselési maradék égéshőjét, ezáltal jellemezve a bioetanol céllal természetű hat cirok hibrid préselési maradékának energetikai hasznosíthatóságát is.

A 2010-es év extrém csapadékos volt, ugyanis a DE AGTC KIT Karcagi Kutató Intézet mérései szerint 889,1 mm csapadék esett a tárgyévben, amelynek több, mint fele (449,7 mm) a május-augusztus időszakban hullott. A 2010-es évben a vizsgálati területen többször is belvíz jelent meg. A 2011-es és 2012-es évek tenyészidőszakaiban a térségre jellemző aszályos időjárás volt. A tenyészterület régi csernozjom talajon volt, amelynek a legfontosabb talajtani adatai az 1. táblázatban olvashatóak. A monokultúrát kerülve a cirok tenyészterület évről-évre új táblára került, de a talajtani paraméterek között jelentős eltérés nem mutatkozott (1. táblázat).

## EREDMÉNYEK

A vizsgálati évek alatt különféle időjárási szélsőségek (belvíz, aszály) fejtette ki hatását a cirokra, illetve annak mutatóira, amelyet a vizsgálatba bevont hibridek a három éves időtartamra vonatkozó, az 1 m<sup>2</sup> területről származó minták tömegeinek felszorozásával és átlagolásával kapott termésátlagok is alátámasztanak (2. táblázat).

1. táblázat

A 2010-es évi cirok tenyészterület talajtani vizsgálatának eredményei

Mélység(1)	pH(H <sub>2</sub> O)	pH(KCl)	KA	Sótartalom(2)	AL-oldható(3)				
					P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca	Mg	Na
				%			mg/kg		
0–10 cm	6,03	5,18	49	0,03	68,4	377	3620	562	32
10–20 cm	6,01	5,13	55	0,02	59,0	305	3520	557	33
20–30 cm	6,06	5,14	47	0,00	59,0	308	3460	572	35
30–40 cm	6,34	5,41	50	0,00	50,9	288	3890	599	41
40–50 cm	7,59	6,84	60	0,02	27,2	244	6200	674	46

Table 1: The results of the sorghum production site's soil examination in 2010  
Depth(1), Salinity(2), AL-soluble(3)

2. táblázat

A számított termésátlagok a vizsgálat három évére vonatkozóan

	Berény	Róna-1	Monori édes	Cellu	Sucrosorgo 506	G-1990
Termésátlag (t/ha)(1)	41,98	33,63	35,57	52,22	53,67	44,55

Table 2: The calculated average yields by the three years of the examination  
Yield(1)

A hibridek szárazanyagban (Brix°) kifejezett cukortartalmát illetően mindenképp elmondható, hogy a 3 év átlagában mindegyik hibrid esetében igen jelentős szórást mutatnak az eredmények. Ennek egyik oka a már említett szélsőséges időjárási viszonyok, a másik oka a növények cukor felhalmozódásának dinamikája, ugyanis általánosságban elmondható, hogy az augusztus közepén még 8–10 %-os Brix°-ban kifejezett cukortartalom október első dekádjának végére éri el maximumát. Ezt követően a cukortartalom a környezeti té-

nyezőktől és a hibrid genetikai alapjaitól függően stagnál, stagnáláshoz közeli értékeket mutat, vagy pedig csökkenésnek indul. A három kísérleti év cukortartalmait kiértékelve (3. táblázat) láthatjuk, hogy az átlagos cukortartalom tekintetében a Berény hibrid bizonyult a legjobbnak, leggyengébbnek pedig a G-1990 hibrid (1. ábra).

Az egységnyi területről kinyerhető bioetanol hozam meghatározásában a cukortartalom mellett, igen fontos tényező a növény nedvességtartalma is. A min-

tavételenként meghatározott potenciális bioetanol hozam átlagait tekintve elmondhatjuk, hogy a vizsgált hibridek a tárgyidőszak vonatkozásában átlagosan 1145–1537 l/ha potenciális bioetanol hozammal bírnak, egyes esetekben szélsőségesen nagy szórással, pl. a Berény hibrid esetén. A nagy szórás az adott hibrid kli-

matikus tényezőkkel szembeni érzékenységének tudható, hiszen a növény az átlagos alatti értékek nagy részét a 2010-es extrém csapadékos évben produkálta, míg az átlagon felüli értékeket túlnyomórészt a 2012-es aszályos évben kaptuk.

3. táblázat

A cirokhibridek cukortartalmának legfontosabb statisztikai jellemzői

	Berény	Cellu	G-1990	Monori édes	Róna 1	Sucrosorgo 506
Minimum(1)	8,25	6,25	5,75	8,75	9,25	5,75
Maximum(2)	19,50	16,45	16,25	18,25	18,75	20,25
Medián(3)	14,25	12,75	11,25	12,75	13,25	13,25
Átlag(4)	14,48	12,09	10,47	13,26	13,36	12,53
Szórás(5)	2,58	3,03	2,55	2,54	2,38	3,96
Variancia(6)	6,65	9,19	6,53	6,45	5,65	15,71

Table 3: The most important statistical attributes of the sorghum hybrid's sugar content  
Minimum(1), Maximum(2), Median(3), Mean(4), Standard Deviation(5), Variance(6)

1. ábra: A Brix%-ban kifejezett cukortartalmak a vizsgálatba bevont hibridek esetében

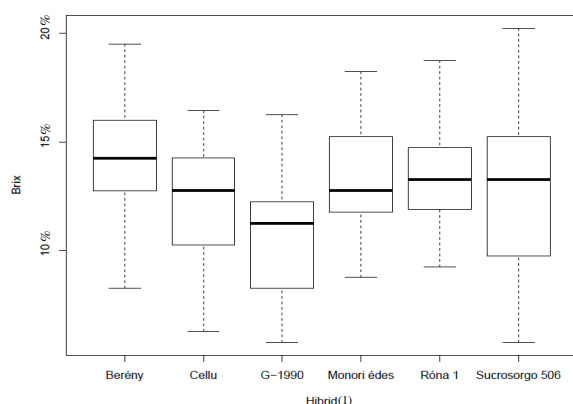


Figure 1: The sugar contents of the evaluated hybrid's determined in Brix%  
Hybrid(1)

Az átlagos bioetanol hozam szórásának, valamint a minimum és maximum érték különbségének a fentiekben túl arra hívja fel a figyelmet, hogy igen jelentős szereppel bír a betakarítási időszak helyes megválasztása (2. ábra és 4. táblázat).

A mintavételi időpontokra vonatkoztatott potenciális etanol hozamokat 15 napos időintervallumokban ábrázolva megkapjuk az egyes hibridek potenciális etanol-szolgáltatási dinamikáját a három év átlagában. A 3. ábra arra hívja fel a figyelmet, hogy egyes hibridek eltérő időszakban érik el az etanol szolgáltató képességük maximumát. A Berény hibrid átlagosan 10 nappal hamarabb éri el a maximumot mint a Monori édes, Sucrosorgo 506, G-1990, Róna 1 és Cellu hibridek. A kapott értékek jelentősek lehetnek nagyüzemi etanol célú cukorciroktermesztés esetén, hiszen ilyen esetben célszerű lehet az egyes hibridek meghatározott összetételben történő vetése, biztosítva ezzel a maximális bioetanol hozamot.

2. ábra: A Brix%-ban kifejezett cukortartalmak a vizsgálatba bevont hibridek esetében

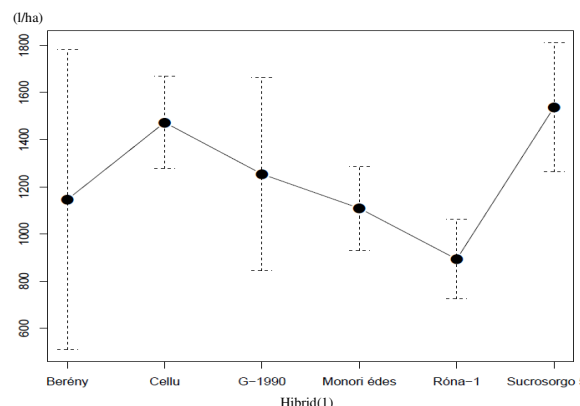


Figure 2: The means and standard deviations of the potential bioethanol production capacities  
Hybrid(1)

A kísérleti eredmények alapján a három év átlagában a hibridek préselési maradékának mennyisége (amit a cukornád préselési maradékához hasonlóan bagasznak is neveznek) megközelítőleg 5 és 35 t között alakul függően a betakarítás idejétől és a választott hibridtől. Általánosan elmondható, hogy a nagy vegetatív hozamú Sucrosorgo 506, Cellu és G-1990 hibridek bagasz hozama is az átlagon felül alakul.

A bagasz kalorimetrikus égéshőjének meghatározása eredményeként azt tapasztaltuk, hogy a 8,2–9,0% nedvességtartalmú minták égéshője 16 200 és 16 900 J/g között alakul (4. ábra). Ezt összevetve DE AGTC KIT Karcagi Kutató Intézet más méréseivel, megállapítható, hogy fűtőértékét tekintve a cirok préselési maradék alapján nem sokban marad el a légszárak akáctól (17 537 J/g) vagy a fűrészporkeveréktől (18 118 J/g).

A cirokhibridek potenciális etanol szolgáltató képességének legfontosabb statisztikai jellemzői

	Berény	Cellu	G-1990	Monori édes	Róna 1	Sucrosorgo 506
Minimum(1)	206,48	336,83	211,18	388,02	266,94	291,66
Maximum(2)	2493,15	3167,89	2747,27	1412,68	1985,95	3101,62
Átlag(3)	1145,66	1472,92	1253,68	1108,83	892,69	1537,83
Medián(4)	1082,33	1468,99	1143,62	1101,44	953,67	272,81
Szórás(5)	636,35	195,38	409,65	178,56	168,64	272,81
Variancia(6)	40 4954,12	38 171,59	16 7812,46	31 883,32	24 438,15	74 423,91

Table 4: The most important statistical attributes of the sorghum hybrid's potential ethanol production capacity  
Minimum(1), Maximum(2), Mean(3), Median(4), Standard Deviation(5), Variance(6)

3. ábra: A különböző időszakokban kinyerhető bioetanol-mennyiség

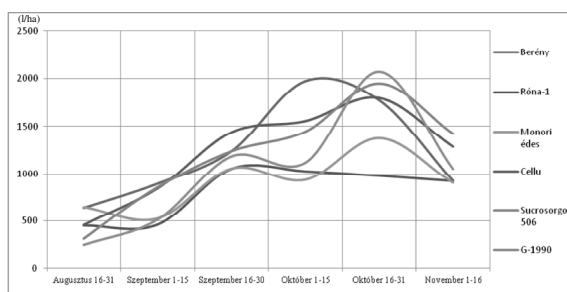


Figure 3: The amount of potential bioethanol production in different periods

4. ábra: A vizsgált cirokhibridek kalorimetrikus égéshő

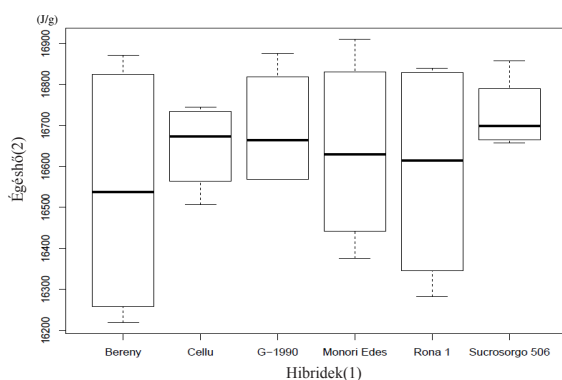


Figure 4: The calorimetric higher heating volumes of the evaluated sorghum hybrids

Hybrid(1), Burn heat(2)

## KÖVETKEZTETÉSEK

Hat hibrid három éves vizsgálatai alapján a cukor-cirok eredményes növénye lehet a bioetanol-előállításnak az Észak-alföldi régióban. Aszály- és közepes sötét- képességének köszönhetően ideális bioenergetikai alapanyag lehet a kedvezőtlen adottságú területeken is, tekintettel az elérhető akár 20,25 %-os Brix<sup>o</sup>-ban megadott cukortartalomra. Az eredmények alapján ügyelni kell a betakarítás időpontjára, illetve a hibrid megválasztására, sőt nagyüzemi termesztése esetén a maximálisan kinyerhető bioetanol mennyiség elérése érdekében, mindenképp eredményes lehet több különböző hibrid meghatározott arányú vetése, hiszen egyes hibridek korábban, míg más hibridek később érik el a cukor-, illetve nedvesség-felhalmozódás maximumát.

A bioetanol-előállítás melléktermékeként keletkező bagasz felhasználásában szintén perspektivikus irány lehet a bioenergetika, hiszen kedvező égéshő értékeit (16 200–16 900 J/g) kihasználva másodlagos biomasszaként, mint tüzelőanyag javíthatja a cirok bioenergetikai hasznosításának gazdasági vonzatait.

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A publikáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta.

A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

## IRODALOM

- Balat, M.–Balat, H. (2008): Progress in bioethanol processing. Progress in Energy and Combustion Science. 34: 551–573.
- Balat, M.–Balat, H. (2009): Recent trend sin global production and utilization of bioethanol fuel. Applied Energy. 86: 2273–2282.
- Barbanti, L.–Grandi, S.–Vecchi, A.–Venturi, G. (2006): Sweet and fibre sorghum (*Sorghum bicolor* L. Moench) energy crops in the frameof environmental protection from excessive nitrogen loads. Eur. J. Agron. 25. 1: 30–39.
- Billa, E.–Koullas, D. P.–Monties, B. (1997): Structure and composition of sweet sorghum stalk components. Ind. Crops Prod. 6: 297–302.
- Bryan, W. L. (1990): Solid state fermentation of sugars in sweet sorghum. Enzyme Microb Technol. 12: 437–442.
- Dolciotti, I.–Mambelli, S.–Grandi, S.–Venturi, G. (1998): Comparison of two sorghum genotypes for sugar and fibre production. Ind. Crops Prod. 7. 2–3: 265–272.
- Goshadrou, A.–Karimi, K.–Taherzadeh, M. J. (2011): Bioethanol production from sweet sorghum bagasse by *Mucor hiemalis*. Ind. Crops Prod. 34: 1219–1225.
- International Energy Agency (IEA) (2008): Key world energy statics. Paris. OECD/IEA.

- Kim, S.–Dale, B. E. (2005): Environmental Aspects of ethanol derived from no-tilled corn grain: nonrenewable energy consumption and greenhouse gas emissions. *Biomass Bioenergy*. 28: 475–489.
- Kiss I.–Mlinarics E. (2008): A bioetanol előállítása és felhasználása. [In: Chlepkó T. (szerk.) *Megújuló mezőgazdaság.*] Magyar Katolikus Rádió Zrt. Budapest. 256.
- Kovács G. P.–Mikó P.–Nagy L.–Gyuricza Cs. (2011): Talajművelési eljárások hatása a cukorcirok (*Sorghum bicolor* L. Moench) beltartalmi paramétereire. *Növénytermelés*. 60. 1: 61–68.
- Mojovic, L.–Pejin, D.–Grujic, O.–Markov, S.–Pejin, J.–Rankin, M. (2009): Progress in the production of bioethanol on starch based feedstocks. *Chemical Industry and Chemical Engineering Quarterly*. 15: 221–226.
- Mojovic, L.–Pejin, D.–Rankin, M.–Pejin, J.–Nikolic, S.–Djukic-Vukovic, A. (2012): How to improve the economy of bioethanol production in Serbia. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 16: 6040–6047.
- Nguyen, M. H.–Li, R. G. H. (1991): Review of the present feasibility of crop based fuel alcohol production in Australia. *Proceedings of the IX. international symposium on alcohol fuels*. 3: 1040–1045.
- Popp J. (2007): A bioüzemanyag-gyártás nemzetközi összefüggései. *Agrárgazdasági Tanulmányok. Agrárgazdasági Kutató Intézet*. Budapest. 6: 132.
- Uriarte, F. A. (2010): *Biofuels from plant oils*. Jakarta. Indonesia.
- Zhang, C.–Wei, J.–Jing, X. (2003): Life cycle economic analysis of fuel ethanol derived from cassava in southwest China. *Renewable Sustainable Energy Rev*. 7: 353–366.
- Zhao, Y.–Dolat, A.–Steinbergerc, Y.–Wanga, X.–Osmana, A.–Xie, G. H. (2009): Biomass yield and changes in chemical composition of sweet sorghum cultivars grown for biofuel. *Field Crops Res*. 11. 1–2: 55–64.
- 28/2009. (IV. 23.) EK Irányelv a megújuló energiaforrásból előállított energia támogatásáról, valamint a 2001/77/EK és a 2003/30/EK irányelv módosításáról és azt követő hatályon kívül helyezéséről.

